



St Petersburg  
University

# LXX INTERNATIONAL CONFERENCE *NUCLEUS - 2020*

*October, 11-17, 2020 St Petersburg, Russia*



## STUDYING A POSSIBILITY OF NEUTRON-ACTIVATION DETERMINATION OF RHENIUM CONTENT IN RADIOACTIVE ROCKS

**S.Zuyev, A.Afonin, Yu.Burmistrov, E.Konobeevski,  
M.Mordovskoy, V.Ponomarev, G.Solodukhov**  
*(Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences)*

**P.Kailachakov, I.Vikentyev**  
*(Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and  
Geochemistry, Russian Academy of Sciences)*

# Введение

~~В Институте ядерных исследований РАН создан W-Be фотонейтронный источник нейтронов на базе линейного ускорителя электронов LUE-8-5. Источник используется для облучения тепловыми нейтронами образцов материалов, минералов и горных пород с последующим нейтронно-активационным анализом (НАА).~~

Рений относится к чрезвычайно дорогим металлам. Этот элемент является наименее распространенным в земной коре. Его весовой кларк составляет 0.0007 г/т.

В связи с низкими содержаниями и сложным характером распределения рения в породах решающую роль играет выбор метода определения содержаний такого уровня. Цель настоящей работы – оценить возможность корректного определения низких содержаний рения в радиоактивных горных породах со сложной матрицей.

Несмотря на высокую чувствительность современных методов, прямое определение рения затруднено вследствие его низких, следовых, содержаний в анализируемых объектах и мешающего влияния некоторых матричных элементов.

Одним из наиболее перспективных методов определения содержания рения на следовом уровне являются нейтронно-активационный анализ.

# Рений

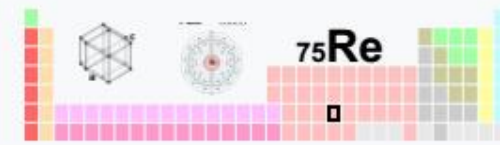
Материал из Википедии — свободной энциклопедии

75 Рений  
**Re**186,20  
 $4f^{14}5d^56s^2$

**Рений**

← Вольфрам | Осмий →


↑ Tc  
75 Re  
↓ Bh



75Re

**Внешний вид простого вещества**

Плотный, серебристо-белый твёрдый металл



Рений

Важнейшие свойства рения, определяющие его применение — это очень высокая температура плавления (3186 °C), устойчивость к химическим реагентам, каталитическая активность, стабильности твердофазной структуры при значительных температурных колебаниях и длительной (без разрушений) работы в условиях термоциклирования.

# Сырьевые источники и запасы

---

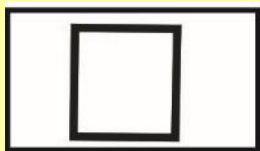
По природным запасам рения на первом месте в мире стоит Чили, на втором месте — США, а на третьем — Россия.

В России запасы рения в виде рениита на вулкане Кудрявый (о. Итуруп, Южные Курилы) оцениваются в 10–15 тонн, в виде вулканических газов — до 20 тонн в год.

В России гидрогенные полиэлементные месторождения (месторождения зон пластового окисления) обладают наибольшим ресурсным потенциалом, превышая потенциал медно-молибденовых руд медно-порфировых месторождений (основной источник рения в мире). Суммарные прогнозные ресурсы рения по месторождениям этого типа на территории РФ оцениваются 2900 т, что составляет 76 % ресурсов Re страны.

Большая часть (82 %) этих ресурсов находится в Подмосковной провинции, приуроченной к Подмосковному буроугольному бассейну, где наиболее изученным рениеносным объектом является Брикетно-Желтухинское месторождение в Рязанской области.

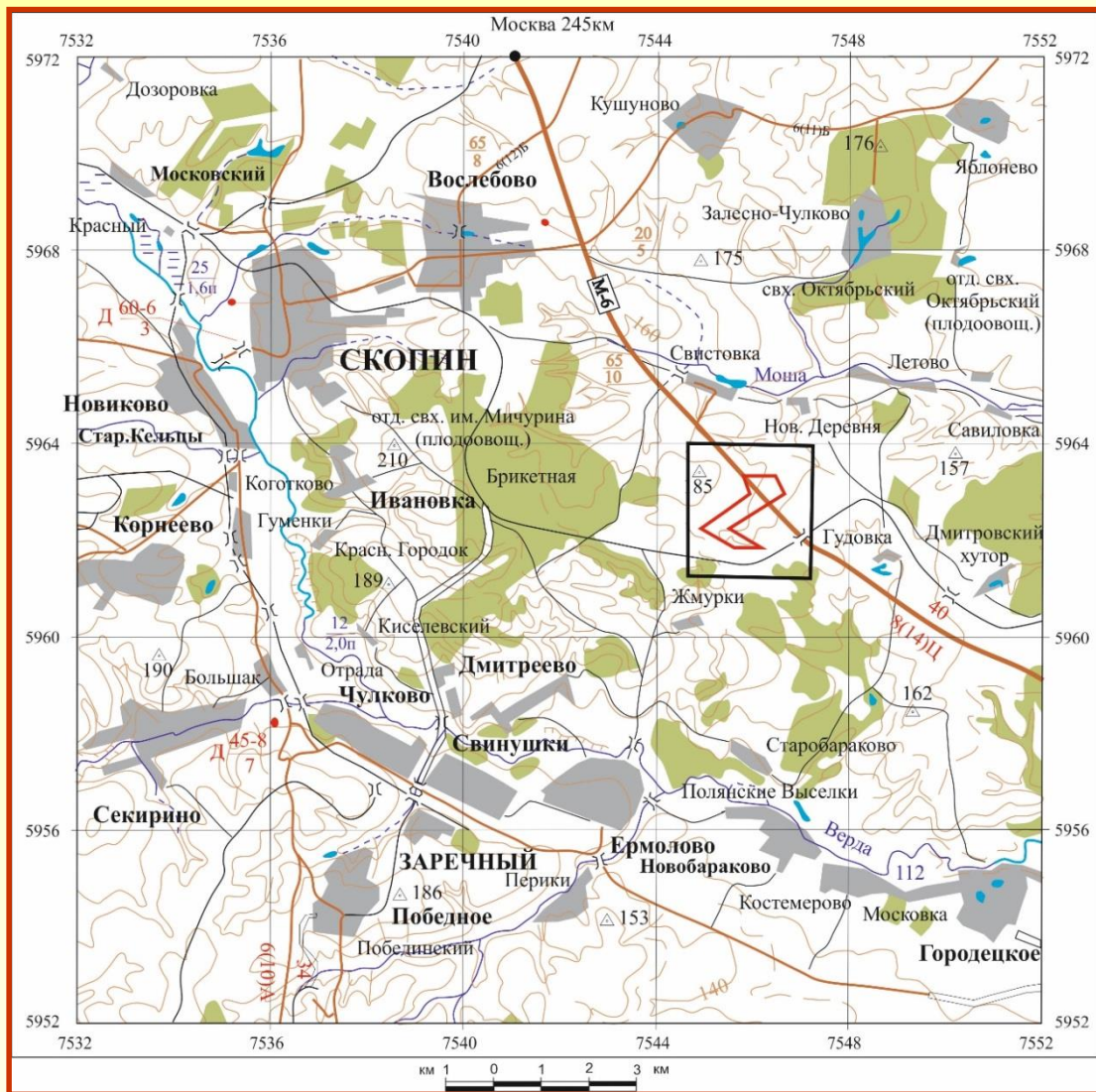
# Брикетно-Желтухинское U–Mo–Re месторождение (Рязанская область)



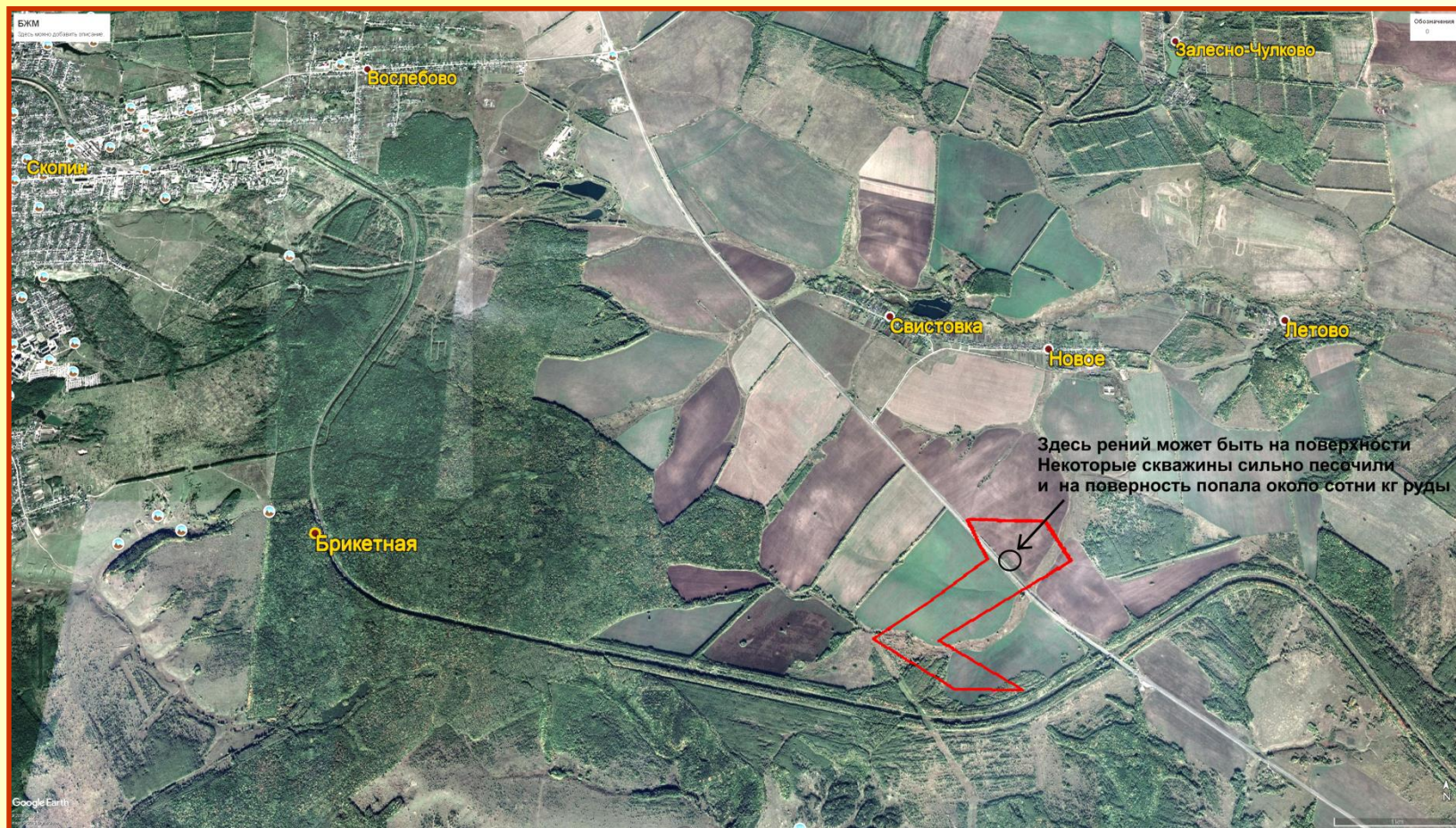
Лицензионная  
площадь



площадь  
развития U–Mo–  
Re оруденения

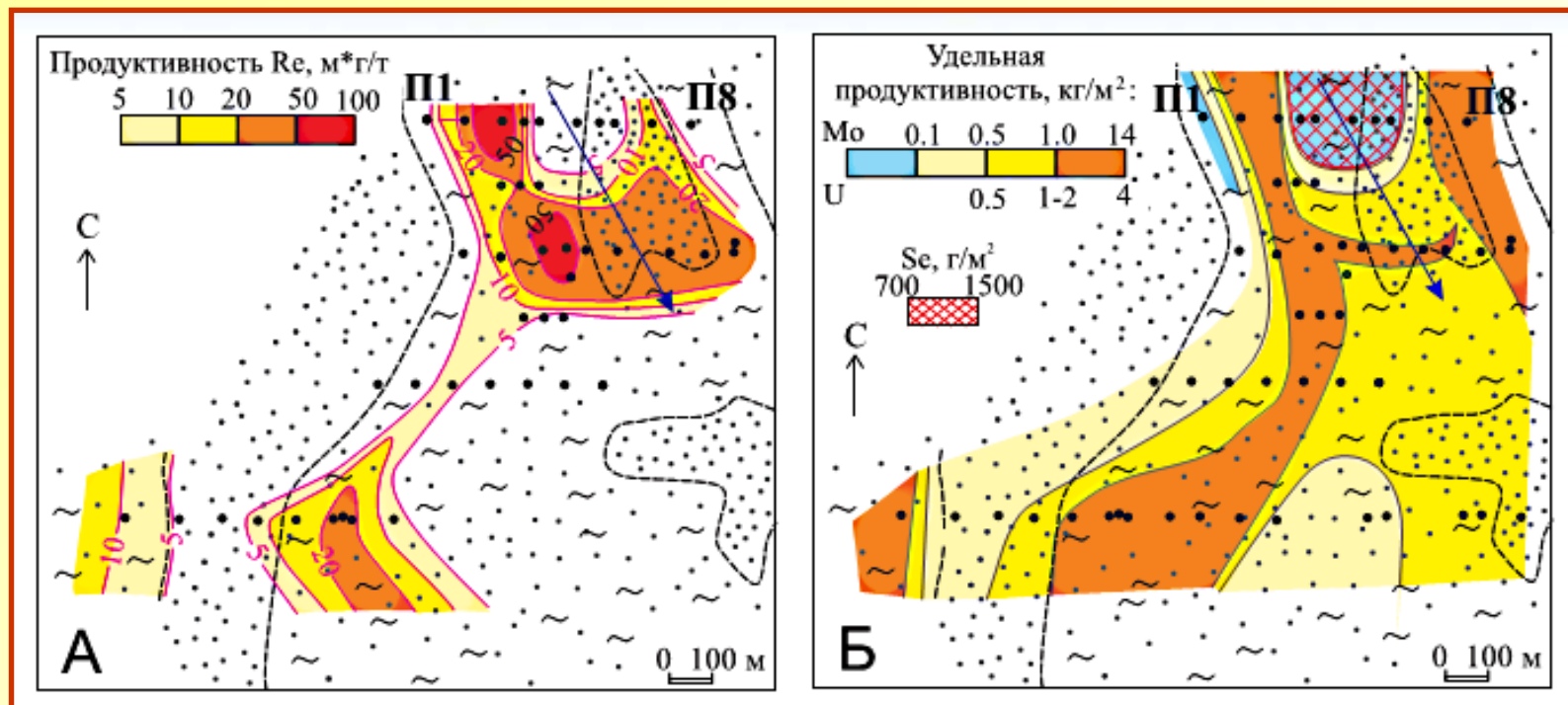


# Брикетно-Желтухинское U–Mo–Re месторождение (Рязанская область)



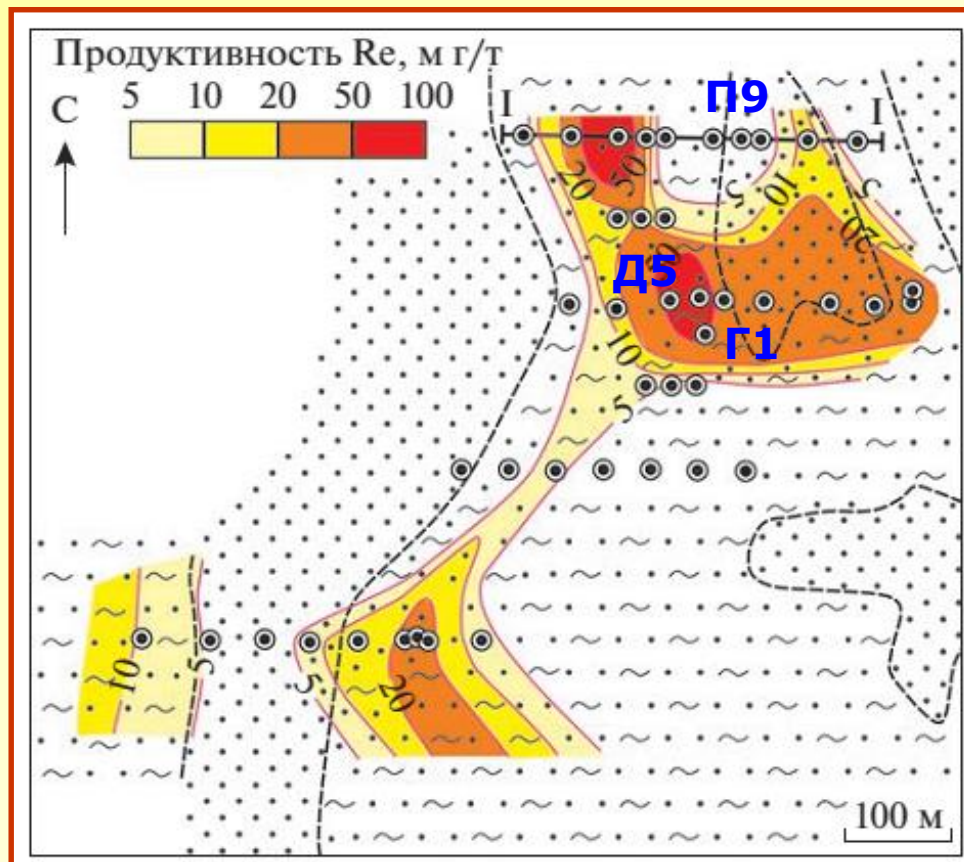
**Брикетно-Желтухинское U–Mo–Re месторождение в южной части  
Подмосковного буроугольного бассейна**

# Брикетно-Желтухинское U–Mo–Re месторождение (Рязанская область)



Изолинии продуктивностей: А — рениевого оруденения и Б — селен-уран-молибденовой минерализации на схеме бобриковского горизонта Брикетно-Желтухинского месторождения [Карась С.А. и др. 2017]

# Схема скважин керноотбора Брикетно-Желтухинского месторождения



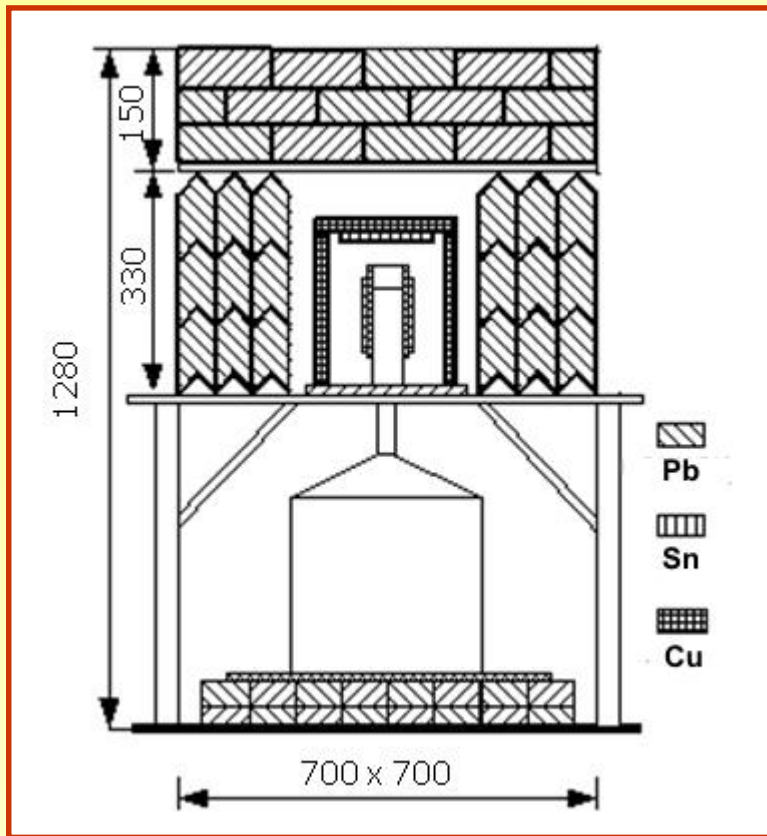
Скважины, для которых исследовались образцы керна  
[Карась С.А. и др. 2017; Викентьев И. В., Кайлачаков П. Э. 2020 ]



# Образцы керна отбора Брикетно-Желтухинского месторождения

Скв. №	№ пробы	Глубина. м		Описание пород	Цвет	Аутигенная минерализация и пр.
		от	до			
П-9	П9-50	76.1	77.8	переслаивание угля и песка разнозернистого (мелко-зернистого). мощность прослоев около 1.0 см.	темно-серый до черного	послойная сульфидная минерализация
Г-1	Г1-47	53.8	55.75	песок с редкими прослойками темно-серого мелко-зернистого песка	серый	
Д-5	Д5-6	49.6	52.7	песок среднезернистый, встречаются обломки угля до грубо-зернистой размерности. в интервале 50.60 - 50.61 м. - тонкое переслаивание угля и сульфидных прослоев	коричневато-серый	обломки угля. уголь с прослойками сульфидов

# Низкофоновая камера с HPGe детектором

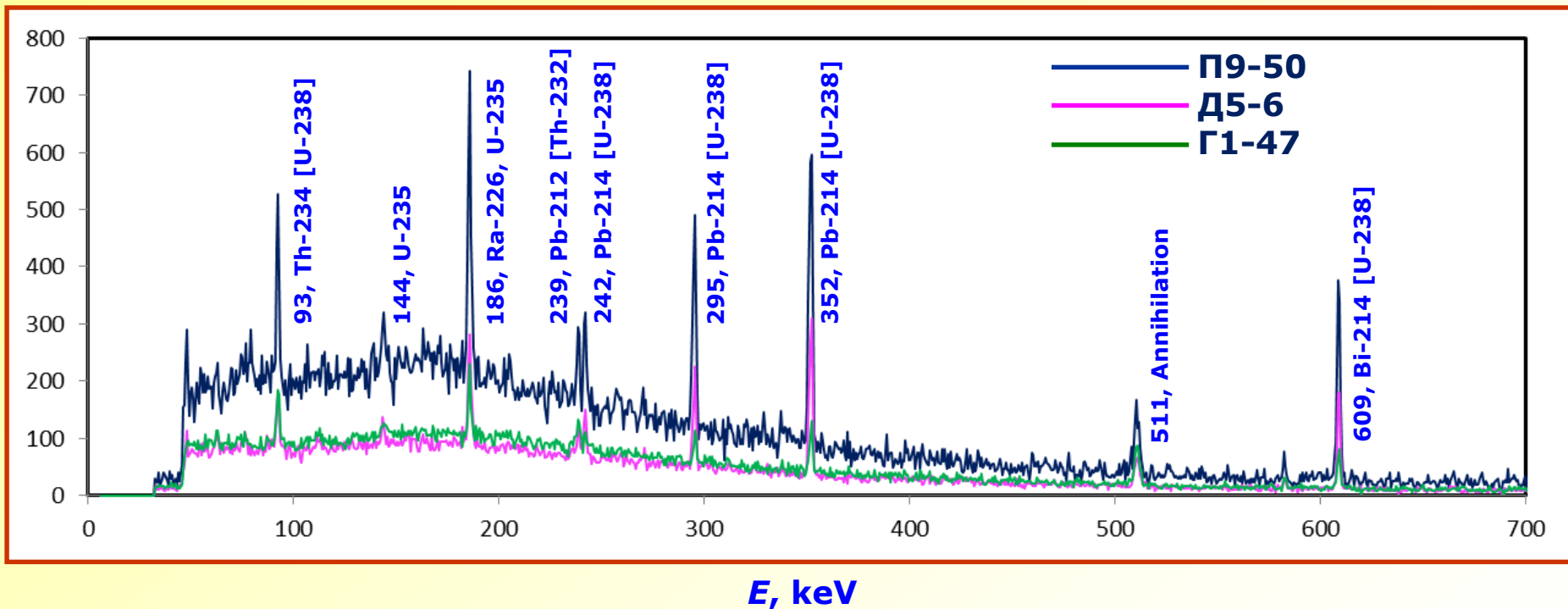


Низкофоновая камера с гамма-спектрометром на базе детектора из особоочистого германия с «пассивной» защитой.

Верхняя часть защиты сдвигается относительно образца.



# Естественная радиоактивность образцов Брикетно-Желтухинского месторождения



**Гамма-спектры естественной активности образцов П9, Д5 и Г1  
Брикетно-Желтухинского месторождения  
(приведены к одному времени измерений 20 ч и массе образца 1 г)**

# Ускоритель электронов LUE-8-5 с фотонейтронным источником нейтронов



Энергия ускоренных электронов  
Частота повторения  
Длительность импульса  
Средний ток электронов при 50 Гц

4 - 10 МэВ  
до 600 Гц  
3  $\mu$ s  
40-50  $\mu$ A

# W-Be фотонейтронный источник нейтронов

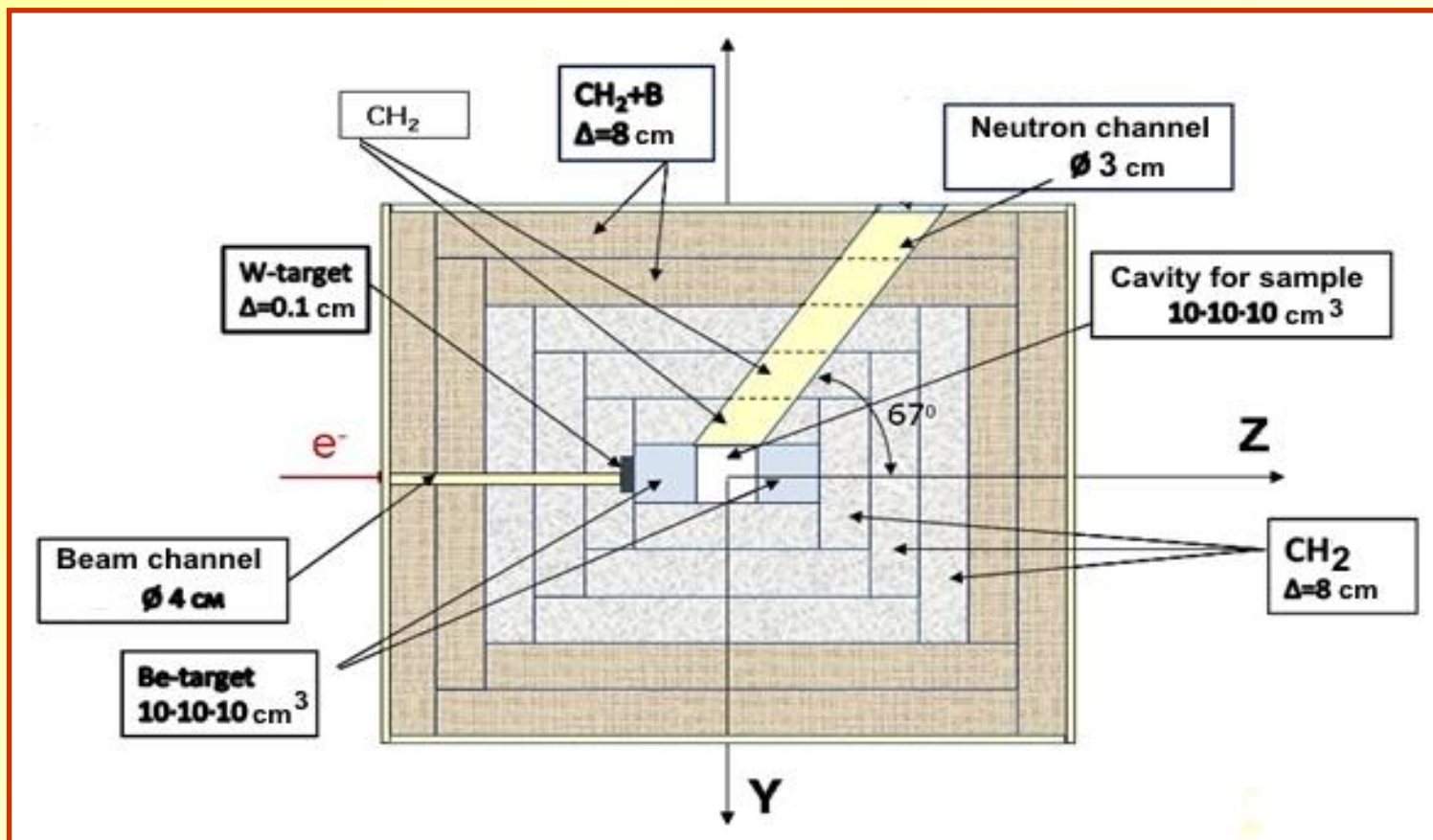


Схема W-Be-фотонейтронного источника нейтронов

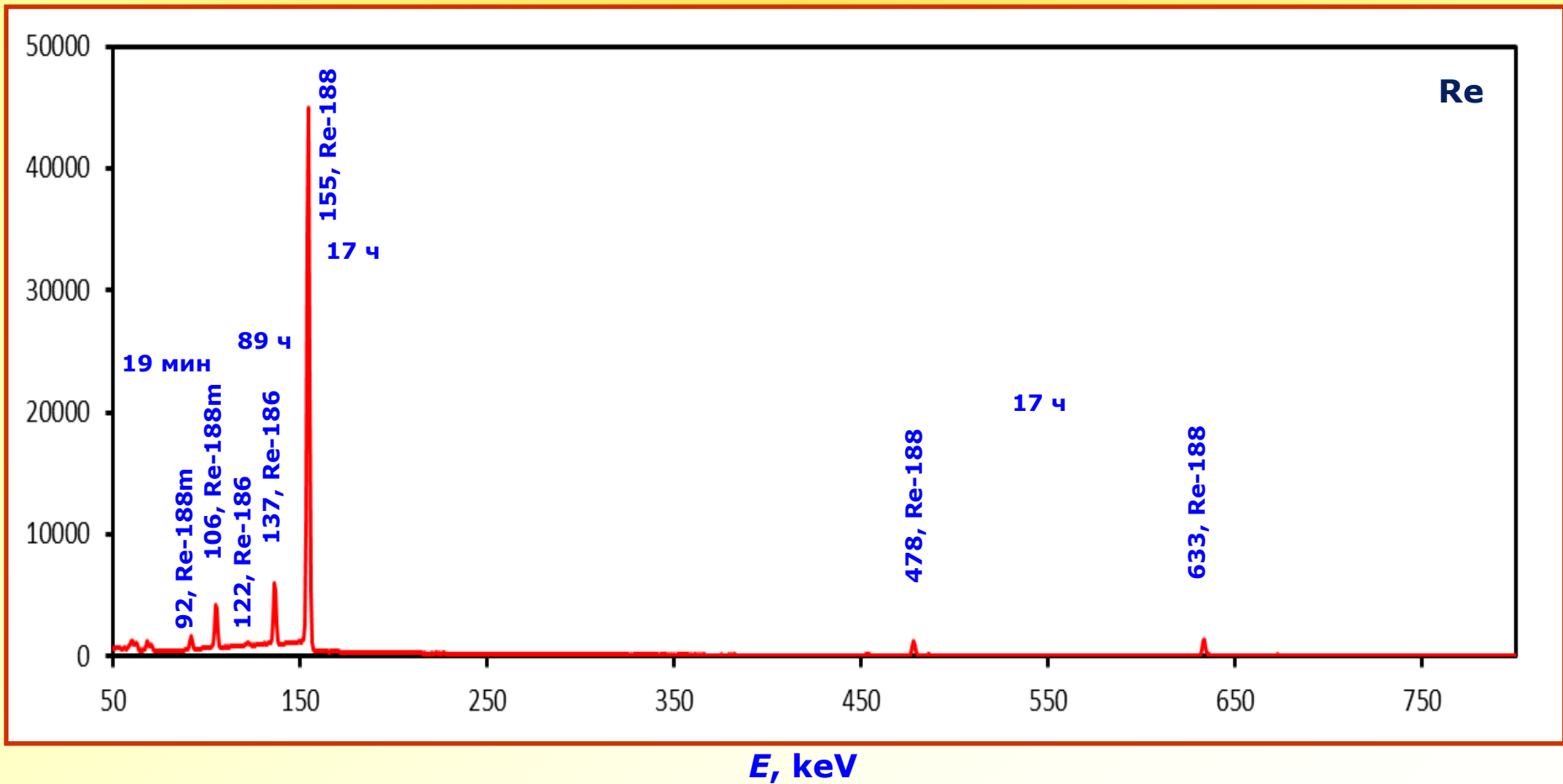
# W-Be фотонейтронный источник нейтронов Институт ядерных исследований РАН (Москва)



**Плотность потока тепловых нейтронов  
Камера для облучения образцов**

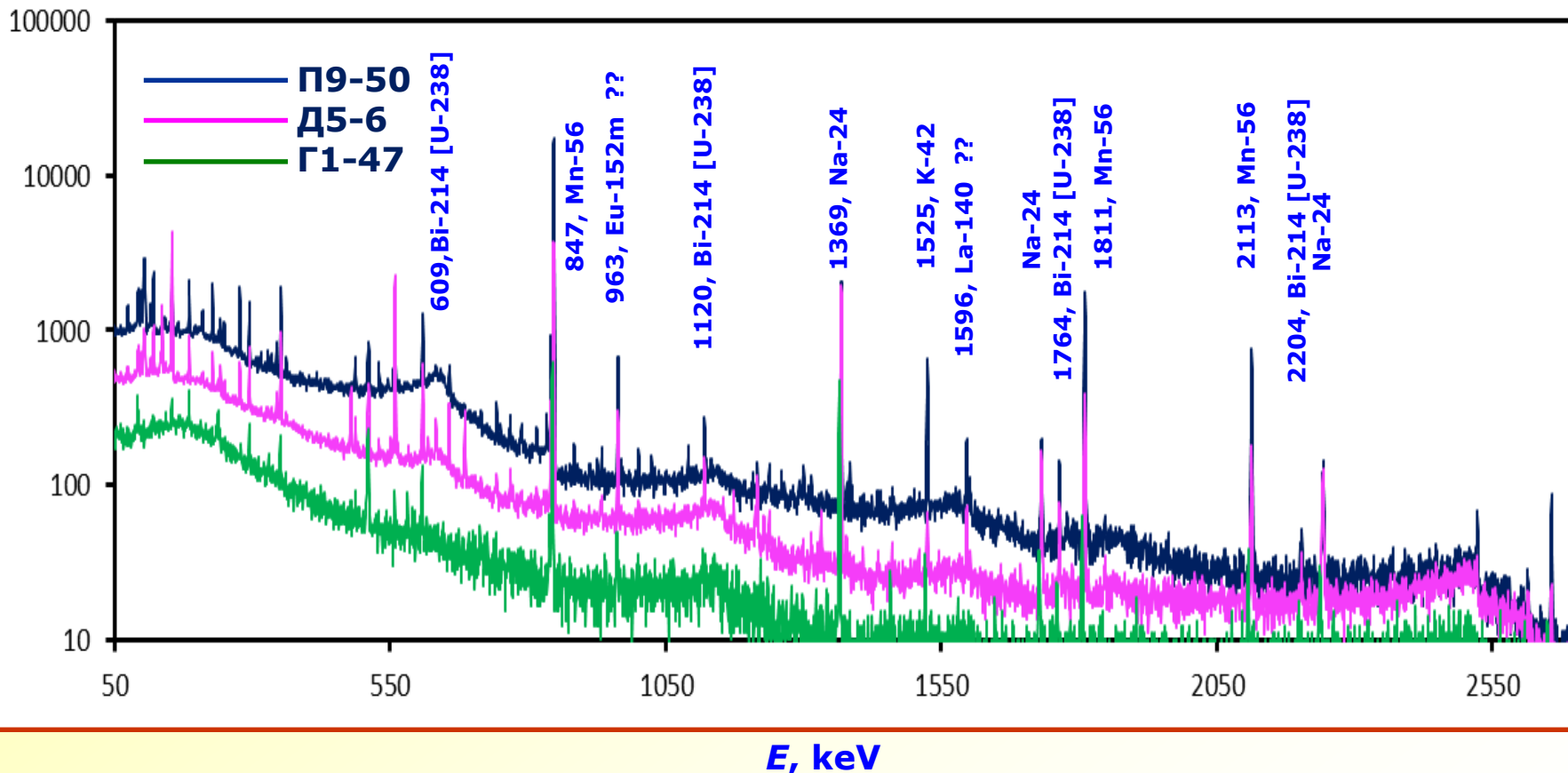
**$\sim 10^7$ - $10^8$  нейтрон/см<sup>2</sup> с  
–  $10 \times 10 \times 10$  см<sup>3</sup>**

# Активационный гамма-спектр рения



**Гамма-спектры образца Re  
(время облучения - 9300 с, измерения - 300 с)**

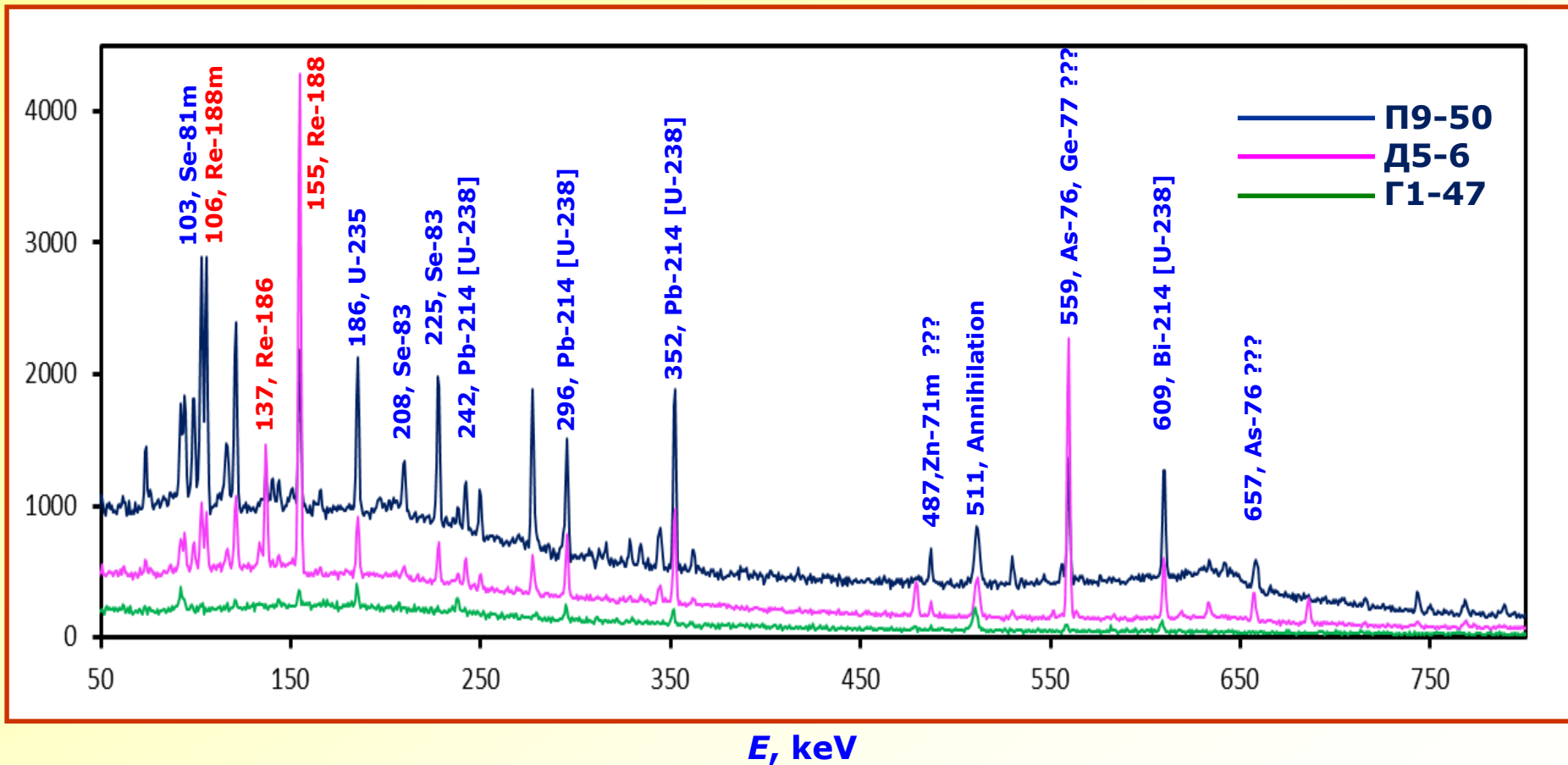
# Активационные гамма-спектры образцов Брикетно-Желтухинского месторождения



Гамма-спектры образцов П9, Д5 и Г1 после облучения тепловыми нейтронами (приведены к одному времени измерений 44 ч и массе образца 1 г, время облучения – 1–3 ч, выдержки – 10–30 мин)

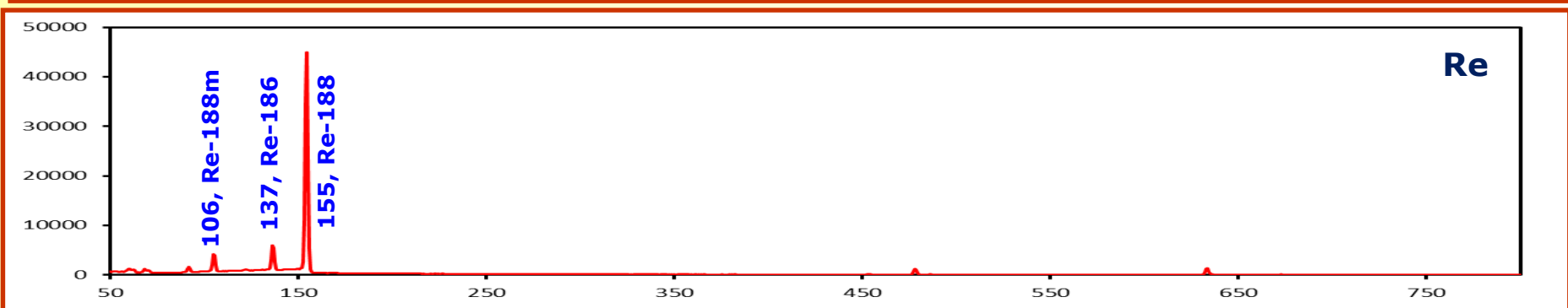
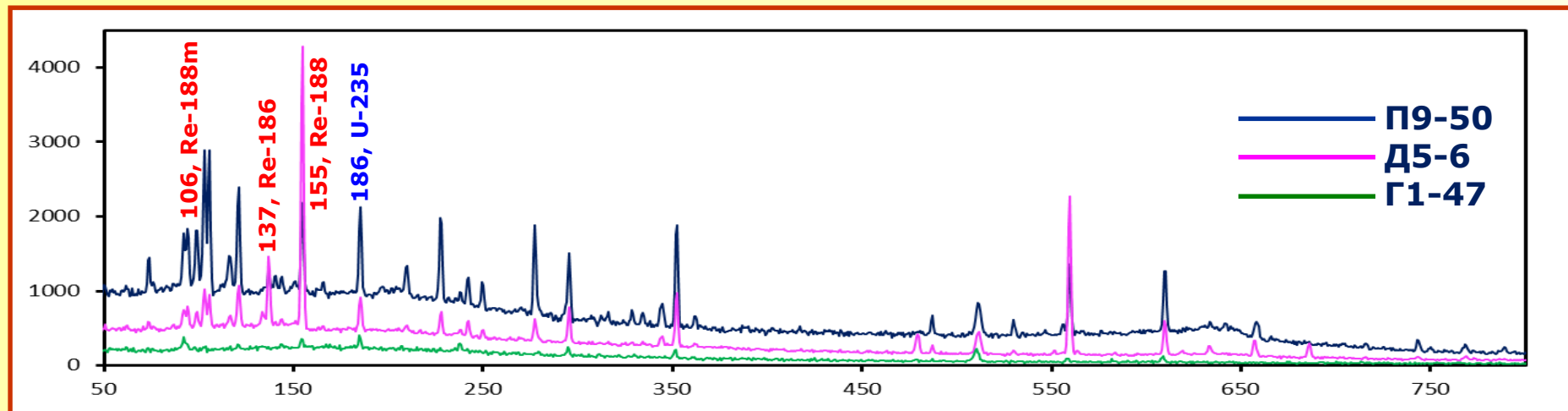


# Активационные гамма-спектры образцов Брикетно-Желтухинского месторождения



Гамма-спектры образцов П9, Д5 и Г1 после облучения тепловыми нейтронами (приведены к одному времени измерений 44 ч и массе образца 1 г, время облучения – 1–3 ч, выдержки – 10–30 мин)

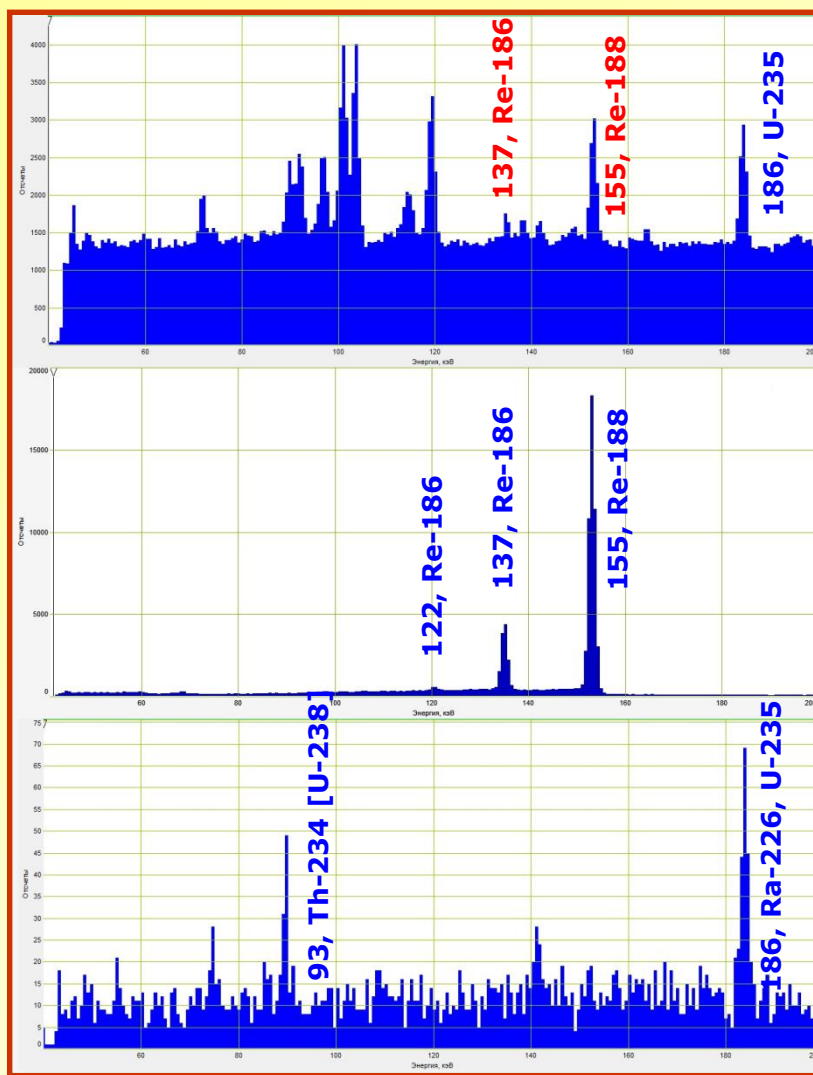
# Сравнение активационных гамма-спектров образцов



$E$ , keV

Гамма-спектры образцов П9, Д5 и Г1 и Re-образца сравнения после облучения тепловыми нейтронами (для Re: время облучения - 9300 с, измерения - 300 с)

# Сравнение гамма-спектров образцов



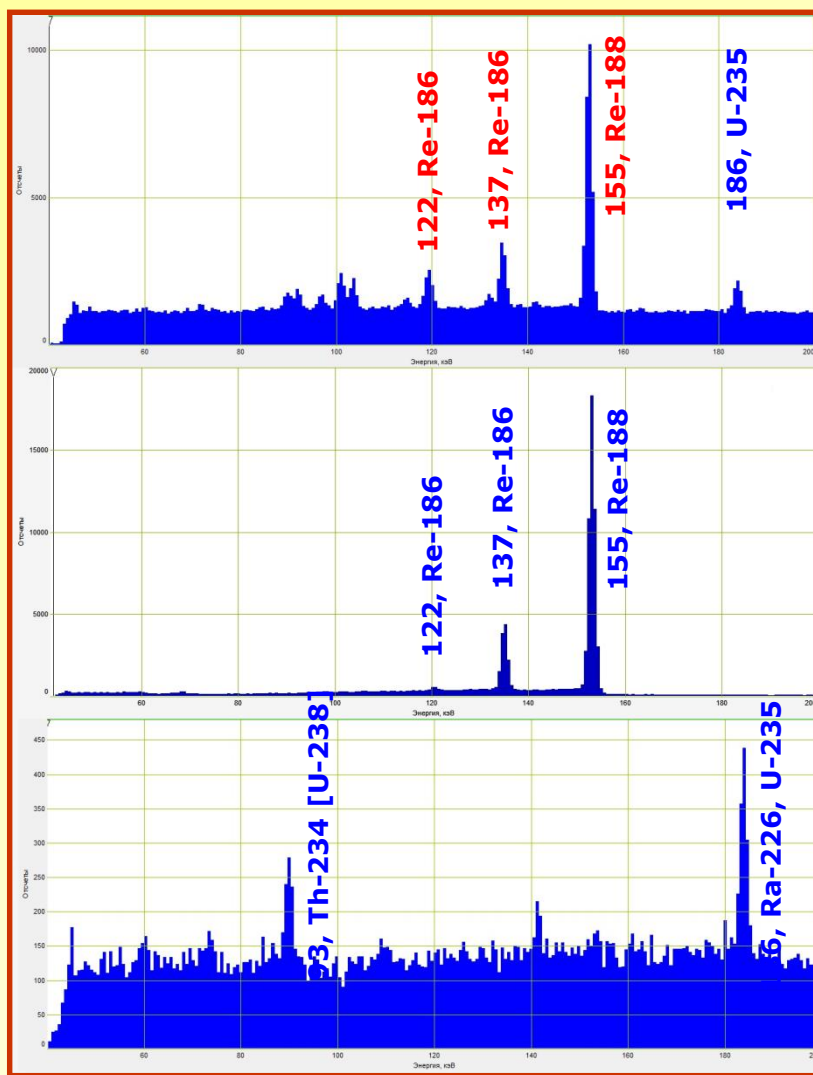
**Активационный гамма-спектр  
образца П9**

**Активационный гамма-спектр  
образца сравнения Re**

**Гамма-спектр естественной  
активности образца П9**

**E, keV**

# Сравнение гамма-спектров образцов



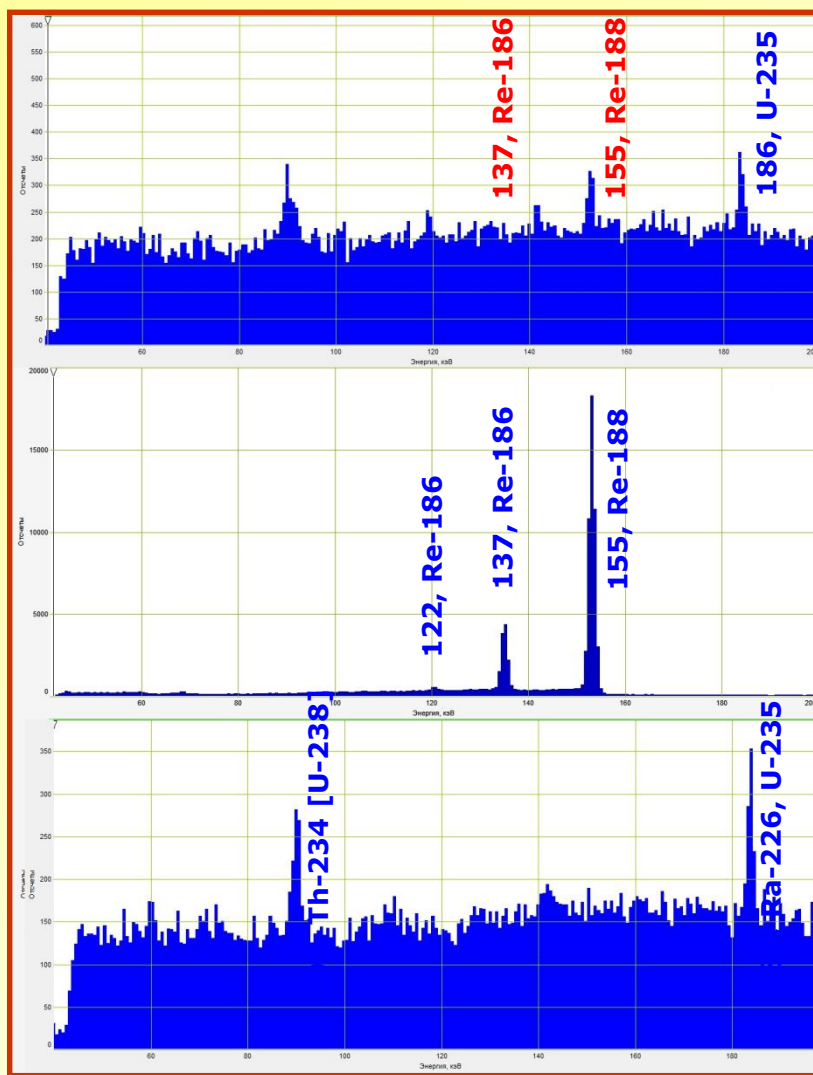
Активационный гамма-спектр образца Д5

Активационный гамма-спектр образца сравнения Re

Гамма-спектр естественной активности образца Д5

E, keV

# Сравнение гамма-спектров образцов



Активационный гамма-спектр  
образца Г1

Активационный гамма-спектр  
образца сравнения Re

Гамма-спектр естественной  
активности образца Г1

E, keV

# Summary and conclusions

---

- Проводилась отработка методики измерения содержания рения в рудных породах.
- Существующие химические методики характеризуются неоднозначностью в определении содержания рения из-за конкурирующих с ним проявлений других элементов. Имеется необходимость в разработке независимых методов анализа ренийсодержащих пород.
- Пробы ренийсодержащих пород облучались нейтронами фотонейтронного источника.
- Анализ активационных гамма-спектров указывает на возможность однозначного определения рения на фоне сопутствующих элементов, что делает нейтронно-активационный анализ предпочтительным для определения содержания рения.

---

**Thank you!**